

# 降雨の時間変化による地下水位の 非定常変動を考慮した斜面崩壊リスクの評価

日本大学大学院工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○山岸泰河  
日本大学工学部 正会員 中村晋

## 1. はじめに

近年降雨による土砂災害の被害が増えており、福島県においても平成23年7月の新潟福島豪雨、平成27年9月の関東東北豪雨、今年の10月に発生した台風19号による降雨を起因とした土砂災害が生じている。降雨に起因する斜面崩壊の可能性を評価し、崩壊リスクに関するハザードマップを作成して避難等に係わるリスク情報を公開することが必要である。本研究では時間最大降雨量に対する降雨ハザードと、時間変動を考慮して非定常的に斜面崩壊フラジリティを求めて、斜面崩壊の評価を行った。

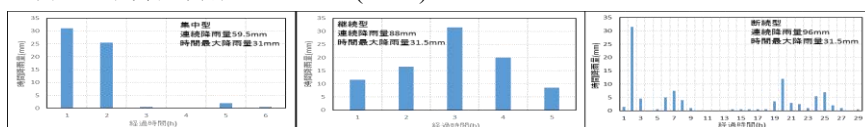
## 2. 時間最大降雨量に対する降雨ハザードの評価

降雨は国土交通省が定義した「累加雨量」に基づいた。無降雨が一定期間（6時間程度）続くと累加雨量がリセットされ、その後に雨量を検出すると新たな雨（降り始め）とすると定義されており、本研究でも同様に「連続時間降雨量」と定義した。連続時間降雨量の中から時間降雨量の最大値（以後時間最大降雨量とよぶ）の年最大値に着目し、極値分布のうちグンベル分布にもとづき、時間最大降雨量毎の超過確率を求めた。その確率分布に対する確率密度関数を(1)、(1)式を積分した累積分布関数を(2)式に示す。ここで特性最大値  $u_0$  と分布パラメータ  $\alpha$  は年最大平均値  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  を用いて式(3)と式(4)より求めた。本研究では白河市を対象として、(2)式から求めた超過確率 0.5(2年に1回)に対する時間最大降雨量は 35.384(mm/h)となった。

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-u_0)} - e^{-\alpha(x-u_0)} \quad (1)$$

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-u_0)}} \quad (2)$$

$$u_0 = \mu - 0.45\sigma \quad (3), \quad \alpha = \frac{1.283}{\sigma} \quad (4)$$



(a) 集中型

(b) 継続型

(c) 断続型

図-1 各降雨タイプの連続降雨量

## 3. 降雨タイプの分類

白河市の1987年～2016年に発生した降雨において、雨群は3380回発生していた。その雨群を時間最大降雨量2mmごとに分類し、それらから降雨タイプを集中型、継続型、断続型の3種類に分類して図-1に示す。時間最大降雨量ごとの降雨タイプの分類と降雨発生回数を図-2に示した。時間最大降雨量の大きな雨群は少なく、降雨タイプは集中型と継続型となり、断続型が生じていない。

## 4. 崩壊フラジリティの評価

### 4.1 降雨タイプに応じた地下水位の変動

降雨の非定常性を考慮した地下水位の評価には、図-3に示す森脇ら<sup>2)</sup>による近似解からみた地下水流の発達・減水過程に基づき算出した。その解析に用いた斜面モデルの構造条件は土層厚1.0m、斜面長50m、斜面勾配40°である。各降雨タイプの地下水位を図-4に示す。連続降雨量88mmの継続型においては最大地下水位47.7cm、連続降雨量96mmの断続型では最大地下水位は29.9cmにとどまった。また連続降雨量59.5mmの集中型では最大地下水位が33.6cmとなった。以上より、地下水位は継続型が最も高くなり、集中型も断続型と比較すると高くなった。また断続型は、無降雨が多く発生することにより地下水位が斜面上方で減水することにより、水位が長時間で連続して発達しないため、連続降雨量が同じでも他のタイプに比べ、地下水位の上昇量が小さい。

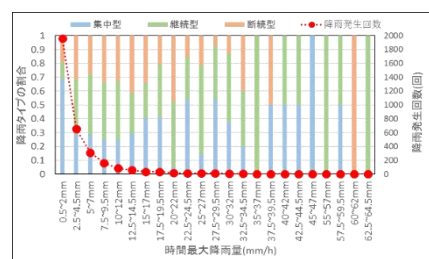
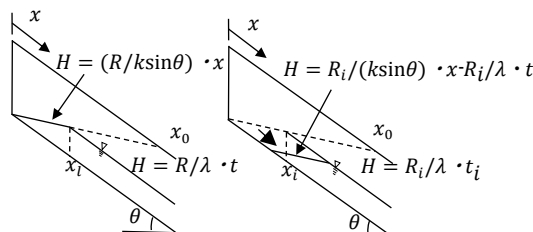


図-2 時間最大降雨量ごとの降雨  
パターンの割合および発生回数



(a) 発達モデル

(b) 減水モデル

図-3 近似解による地下水位の発達・減水モデル

キーワード 降雨の時間変化、地下水位の非定常変動、斜面崩壊確率、時間最大降雨量、斜面崩壊確率

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 日本大学工学部土木工学科 地震工学研究室 TEL 024-956-8712

## 4.2 降雨タイプに応じた斜面崩壊の可能性

降雨タイプに応じた地下水位の上昇による斜面崩壊の可能性として、すべり安全率が1となる地下水位（以後、限界地下水位とよぶ）と降雨による地下水位上昇量を比較する。限界地下水位 $Z_{wc}$ は鈴木<sup>3)</sup>による斜面安定モデルの考え方にに基づき、式(5)により算出した。

$$Z_{wc} = \frac{C/\cos^2\theta - D\gamma_1(\tan\theta - \tan\phi)}{(\gamma_1 - \gamma_2 + \gamma_w)\tan\phi - (\gamma_1 - \gamma_2)\tan\theta} \quad (5)$$

斜面モデルの構造・材料特性は表-1に示したとおりであり、斜面勾配 $\theta=35^\circ, \theta=40^\circ$ 、斜面長を無限、100m、50m、25mで設定した。限界地下水位を $\theta$ ごとに算出して、それぞれ0.434m、0.214mとなった。

降雨タイプに応じた地下水位と限界地下水位の比較として、降雨タイプに応じた雨群の時間最大降雨量と連続降雨量の関係を図-5に示す。三つの記号で表し、白抜きの記号で示したAの雨群は限界地下水位に達しない場合、塗りつぶされた記号のBの雨群は限界地下水位以上に地下水位が上昇したものを示している。図-5より集中型や継続型の降雨群についてみると、降雨群の崩壊の可能性の有無について、時間最大降雨量と連続降雨量に明瞭な境界が存在している。しかし断続型の降雨群は連続時間降雨量が約80mmより多い場合に、崩壊の可能性がない降雨群が存在し、崩壊の可能性のある降雨群との境界が不明瞭となっている。斜面長が短い継続型の降雨群にも断続型の境界は不透明となった。

次に、図-6に2.5mm毎に重み付き平均した時間最大降雨量と斜面崩壊確率との関係を斜面勾配 $35^\circ, 40^\circ$ について示した。斜面勾配が $40^\circ$ と $35^\circ$ の条件付き崩壊確率を比較すると、時間最大降雨量10mm/h近傍にて $40^\circ$ については $35^\circ$ に比べて、それぞれの斜面長で3-4倍程度崩壊確率が上昇していた。

## 5. 斜面崩壊リスクの評価

降雨ハザード $H(R_m)$ は時間最大降雨量 $R_m$ の年最大値に着目し、算出した超過確率と時間最大降雨量の関係として求める。降雨フレンジティ $F(R_m)$ は、斜面モデルより算出した降雨群毎の最大地下水位と限界地下水位とを比較して、時間最大降雨量毎の条件付き崩壊確率として求める。以上より、斜面崩壊リスクは式(6)に示す様に降雨ハザードより得られる発生頻度と条件付き崩壊確率から求める。

$$Pf = \int_0^\infty F(R_m) \times \frac{dH(R_m)}{dR_m} dR_m \quad (6)$$

2節の(1)式で求めた時間最大降雨量に対する確率密度関数と条件付き崩壊確率より、1年あたりの斜面崩壊確率を求めた。 $35^\circ$ の斜面勾配では約0.17~0.24、 $40^\circ$ の斜面勾配では約0.74~0.83の値が得られ、両斜面とも斜面長が短くなるにつれて斜面崩壊確率はわずかに小さくなっていた。

## 6. まとめ

白河における1987年~2016年の降雨データより、時間最大降雨量に対する1年あたりの斜面崩壊リスクの評価を行い、 $35^\circ$ の斜面については4年から5年に1度程度、 $40^\circ$ の急勾配斜面については1年から2年に1度程度、崩壊の可能性があることが分かった。今後は斜面特性についても、より現実的な斜面の表層崩壊リスクの評価を実施することが必要である。

## 参考文献

- 1)国土交通省気象庁：連続時間降雨量の定義及び過去の気象データ
- 2)森脇寛・矢崎忍・黄文峰：降雨浸透に伴う地下水流の発達・減水過程と斜面崩壊に及ぼす影響に関する考察 Landslide, Vol.43, No.1, pp.9-19, 2006
- 3)鈴木雅一：強度定数を用いた斜面崩壊発生限界雨量のモデル化，新砂防，Vol.43, No.6, pp.3-8, 1991

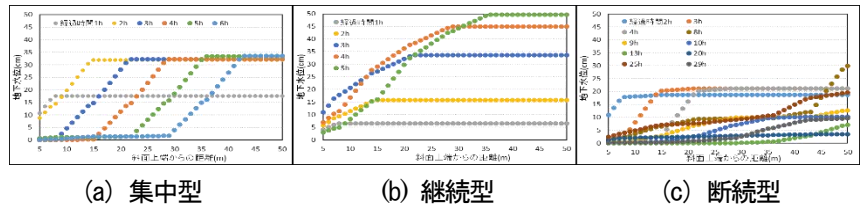


図-4 各降雨タイプの地下水位

表-1 斜面モデルの構造・材料

|             |                                |
|-------------|--------------------------------|
| 不飽和土の単位体積重量 | $\gamma_1=13.916\text{kN/m}^3$ |
| 飽和土の単位体積重量  | $\gamma_2=17.248\text{kN/m}^3$ |
| 土層圧         | $D=1\text{m}$                  |
| 粘着力         | $C=2\text{kN/m}^2$             |
| 摩擦角         | $\Phi=35^\circ$                |

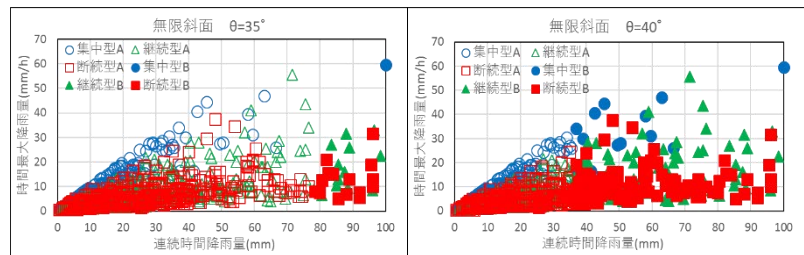


図-5 限界地下水位と降雨タイプに応じた連続時間降雨量と時間最大降雨量の関係



図-6 時間最大降雨量に応じた条件付き崩壊確率